ВЕСТНИК ЮЖНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН, том 2, № 2, 2006, стр. 58–67

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 556.54

ДИНАМИКА СТОКА НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК ДОН И КУБАНЬ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

© 2006 г. В.В. Сорокина[1, 2], О.В. Ивлиева[1, 2], П.М. Лурье[3]

Рассмотрена динамика жидкого и твердого стока рек Дон и Кубань. Выделены характерные периоды изменения стока в соответствии с влиянием природных и антропогенных факторов. Отмечено, что жидкий сток р. Кубань в современный период приблизился к условно естественному. Показано уменьшение твердого стока в четыре раза после создания водохранилищ, что стало основной причиной дефицита наносов, эрозии русел. Выявлены тенденции размыва и аккумуляции наносов на устьевых участках рек Дон и Кубань. Исследована трансформация гранулометрического состава взвешенных частиц в дельтах этих рек. Показано увеличение крупнозернистых фракций в составе взвешенных наносов в связи с эрозией русел из-за зарегулирования стока.

Сток рек является одним из основных элементов водного баланса, который контролирует режим ведущих физико-химических и биологических параметров Азовского моря, а также одним из основных факторов, определяющих условия осадконакопления. Экосистема Азовского моря обладает исключительно низкой инерционностью и устойчивостью к внешним, в том числе антропогенным воздействиям, она быстро реагирует на изменчивость речного стока и атмосферных процессов, которые в современный период отличаются резко выраженными изменениями.

Исследованию влияния изменений климата на гидрологический режим рек посвящено немало работ [1–6 и др.]. Детальная характеристика гидрологии устьев рек Азовского моря дана в работах А.И. Симонова, Н.А. Родионова, В.Г. Симова, А.А. Иванова, В.Н. Михайлова [7–11], оценка изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности в 1970–2002 гг. сделана А.М. Бронфманом, И.А. Шикломановым, А.С. Хорецкой, А.А. Ивановым, В.Г. Симовым, В.Н. Михайловым [7–19 и др.]. Недостаточное внимание в литературе уделено изучению трансформации гранулометрического состава взвесей, изменению величины их потерь в пределах предустьевого и устьевого участков рек [12, 20].

[1] Ростовский государственный университет, Ростов-на-Дону.
[2] Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону.
[3] Северо-Кавказское Межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Ростов-на-Дону.

Цель работы – на основе данных многолетних наблюдений уточнить полученные ранее результаты по динамике жидкого и твердого стока рек, исследовать трансформацию гранулометрического состава взвешенных наносов на устьевых участках.

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использованы данные гидрометеорологических ежегодников о жидком и твердом стоке рек, гранулометрическом составе взвешенных наносов на замыкающем створе реки Дон – станице Раздорской с 1940 по 2004 гг., а также в вершине дельты реки Кубань – хуторе Тиховском и в замыкающих створах: хуторе Зайцево Колено (рук. Кубань) и селе Слободка (рук. Протока) с 1945 по 1999 гг. Данные ежемесячных наблюдений подвергнуты статистическому анализу.

Общая гидрологическая характеристика устьевых участков

Длина устьевого участка Дона от Таганрогского залива до ст. Раздорской, где выклиниваются нагонные колебания уровней воды, составляет 151 км (рис. 1). Он включает в себя многорукавную дельту Дона длиной 38 км и площадью 538 км^2, а также приустьевой участок длиной 113 км. В первом узле Дон делится на два рукава: Мертвый Донец и Дон. Рукав Дона во втором узле – на Старый Дон и Большую Каланчу, которая, в свою очередь – на Большую Кутерьму и Мокрую Каланчу.

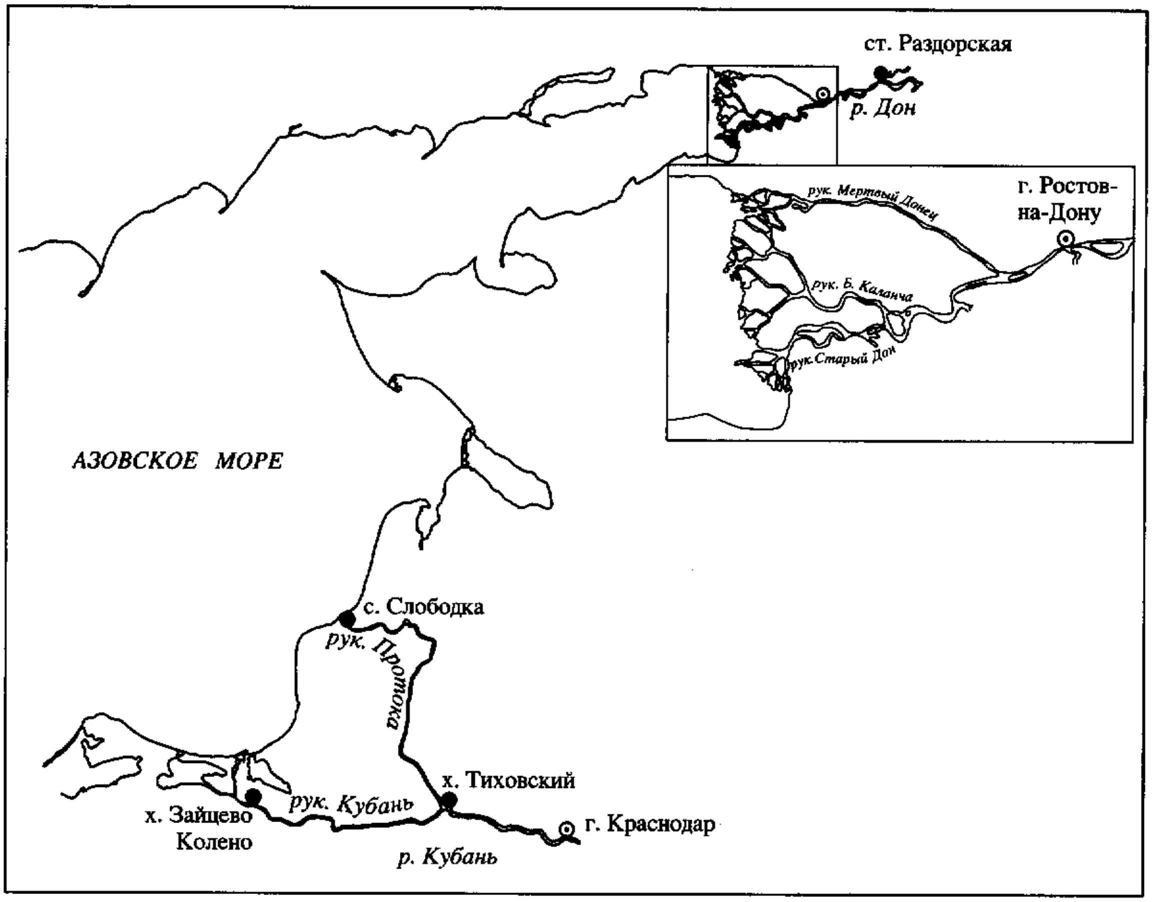

Рис. 1. Схема восточной части Азовского моря и устьевых областей рек Дон и Кубань

Дон является рекой преимущественно со снеговым питанием (снеговое – 67%, подземное – 30%, дождевое – 3%), наибольшее значение для формирования стока имеют условия атмосферной циркуляции и связанные с ней атмосферные осадки зимнего периода. Естественный суммарный сток Дона в устье составляет 29,5 км^3. Преобладающая доля стока формируется во время таяния снега, а также за счет осадков (570 мм/год) и испарения (500 мм/год) [1]. Осадки теплого периода года, несмотря на то, что они в три–четыре раза больше зимних, дают весьма небольшой сток. Сроки ледостава и вскрытия реки меняются год от года на один–два месяца. Продолжительность ледостава на нижнем течении 77–102 дня.

Режим естественного стока реки характеризуется резко выраженным пиком весной и довольно устойчивой меженью в остальные сезоны года. Величина весеннего стока составляет 78%, на летне-осенний период приходится 13–20%, на зимний – 7–15% стока за год.

Устьевой участок р. Кубань представлен в нижней части дельтой (выше х. Тиховский нагонные повышения уровня не распространяются). Площадь дельты 4190 км^2 [11]. В ее вершине (Раздерском узле) Кубань делится на два основных рукава: собственно Кубань длиной 117,5 км (по лоции 1985 г.) и Протоку длиной 133,2 км (рис. 1). В свою очередь, рукав Кубань в Переволокском узле делится на Казачий ерик и Петрушин рукав. Последний в Вербенском узле при впадении в море дробится на рукава Чайкинский, Средний и Голинский. Рукав Протока в устье (Ачуевский узел) разделяется на Правый и Левый рукава. Кроме водотоков в пределах дельты находятся около 240 озерных водоемов (лиманов) [11].

Условно естественный (1929–1948 гг.) сток в дельту составляет в среднем 12,9 км^3 воды в год [9, 13]. По характеру внутригодового распределения стока Нижняя Кубань относится к рекам с продолжительным весенне-летнем половодьем, формирующимся в результате таяния высокогорных снегов и ледников, и кратковременными, но мощными зимними паводками, связанными с обильными атмосферными осадками. В период с апреля по август сток в среднем составляет 62%, в осенний период – 10%, а в зимне-весенний (до апреля) – 28%.

Во второй половине XX века естественная русловая сеть нижних участков Дона и Кубани сильно изменена хозяйственной деятельностью. Водный режим р. Дон с 1952 г. и р. Кубань с 1972 г. на этих участках полностью определяется результирующим влиянием Цимлянского и Краснодарского водохранилищ, что влияет на величину стока и приводит к перераспределению его в течение года.

Основные тенденции изменения климатических параметров в XX веке

Величина стока в первую очередь определяется климатическими условиями. В бассейне Дона с начала XX века климатический режим характеризуется положительными трендами температуры (0,004 °С/год) и осадков (0,987 мм/год) [1]. Так, в период с 1891–1995 гг. температура воздуха повысилась на 0,8 °С. Атмосферные осадки за это время изменялись в широком диапазоне – от 224 мм (1982 г.) до 696 мм (1899 г.) и с начала периода к 1995 г. увеличились на 104 мм, превысив на 49 мм среднемноголетнюю сумму осадков [1]. Произошедшие изменения связаны со сменой циркуляционной эпохи в 1970–1975 гг., что одновременно привело к увеличению облачности и ослаблению скорости ветра в бассейнах рек, увеличению стока рек, главным образом Кубани, с 1987 г. Эвстатическое повышение уровня Азовского моря составило в среднем 1,5 мм/год [1, 3].

ЖИДКИЙ СТОК РЕК ДОН И КУБАНЬ

Характер общей увлажненности в бассейнах рек оказывает основное влияние на величину водного стока, на что, в свою очередь, накладывает свой отпечаток интенсивность хозяйственной деятельности.

На протяжении последних 65 лет (1940 по 2004 гг.) выделяют несколько циклов, или групп маловодных и многоводных лет, различающихся по продолжительности и степени отклонения водности рек от средней величины за весь период. На этом отрезке времени при среднемноголетнем объеме годового суммарного стока рек 34,6 км^3 можно выделить три периода длительностью от 5–6 до 8–9 лет с относительно повышенной водностью Дона и Кубани (1956–1964, 1977–1982, 1993–2004) и три периода продолжительностью 10–12 лет (1943–1955, 1965–1976, 1983–1992) – с пониженной [3].

Для бассейна р. Дон в створе ст. Раздорской за 1940–2004 гг. средний многолетний сток составлял 22,8 км^3. По данным В.Г. Симова [9], распределение стока по рукавам происходило следующим образом: Старый Дон – 31%, Большая Каланча – 68%, Мертвый Донец – 1%.

В течение этого периода к числу маловодных можно отнести 56% рассмотренных лет, когда сток был ниже среднего многолетнего, а 44% – к многоводным. Наименьших значений сток р. Дон достиг в 1972–1975 гг. (9,5 км^3 в 1972 г.) (рис. 2*а*). Основными причинами снижения стока р. Дон на посту ст. Раздорской в эти годы были орошение – 31,9%, дополнительное испарение с водохранилищ – 27,6%, водоснабжение – 12,7%, пруды – 13% [13]. По данным И.А. Шикломанова, в результате хозяйственной деятельности с 1952–1989 гг. сток Дона сократился на 22%. С 1977 г. по настоящее время на р. Дон отмечается некоторая стабилизация стока – около 22 км^3/год при колебаниях от 13,8 (1984 г.) до 38,3 км^3 (1979 г.).

В.Н. Михайлов [21] отмечает, что режим стока воды р. Дон за период с 1881 по 1999 гг. не претерпел заметных изменений после строительства Цимлянского водохранилища. Зафиксировано лишь небольшое уменьшение среднегодовых расходов воды. Сокращение стока реки в 1970-е гг. компенсировалось его ростом с середины 1980-х гг., в это время изменилось внутригодовое распределение: значительно уменьшился сток в мае и несколько увеличился в октябре.

За период 1940–1999 гг. на р. Кубань в створе х. Тиховский средний многолетний водный сток составил 11,8 км^3/год, к маловодным можно отнести 54% лет этого периода, к многоводным – 46%. Такой средний сток не соответствует экологическим особенностям воспроизводства проходных и полупроходных рыб, так как он меньше, чем экологически допустимый для р. Кубань (12,5 км^3/год). Если бы не безвозвратное водопотребление в бассейне реки, его величина была бы на 5 км^3 в год больше [18]. Распределение стока по рукавам в дельте Кубани с 1973 по 2000 гг. составило в рук. Протока – 50,7%, в рук. Кубань – 49,3%, в сравнении с естественным режимом реки доля рук. Протока увеличилась на 4,7%, что обусловлено прежде всего большим забором воды из рук. Кубань.

Наименьший сток р. Кубань отмечен в 1970–1986 гг. (5,7 км^3 в 1986 г. – х. Тиховский). С 1966–1967 гг. значительно возросла интенсивность хозяйственной деятельности в низовьях Кубани, что наложилось на период пониженной водности реки (рис. 2*б*). Именно в это время были построены крупные ирригационные системы, включающие несколько водозаборных и сбросных сооружений, сложную сеть оросительных каналов и канав, а также рисовые чеки. На р. Кубань к 2000 г. построено 5 подпорных гидроузлов, 4 круп-

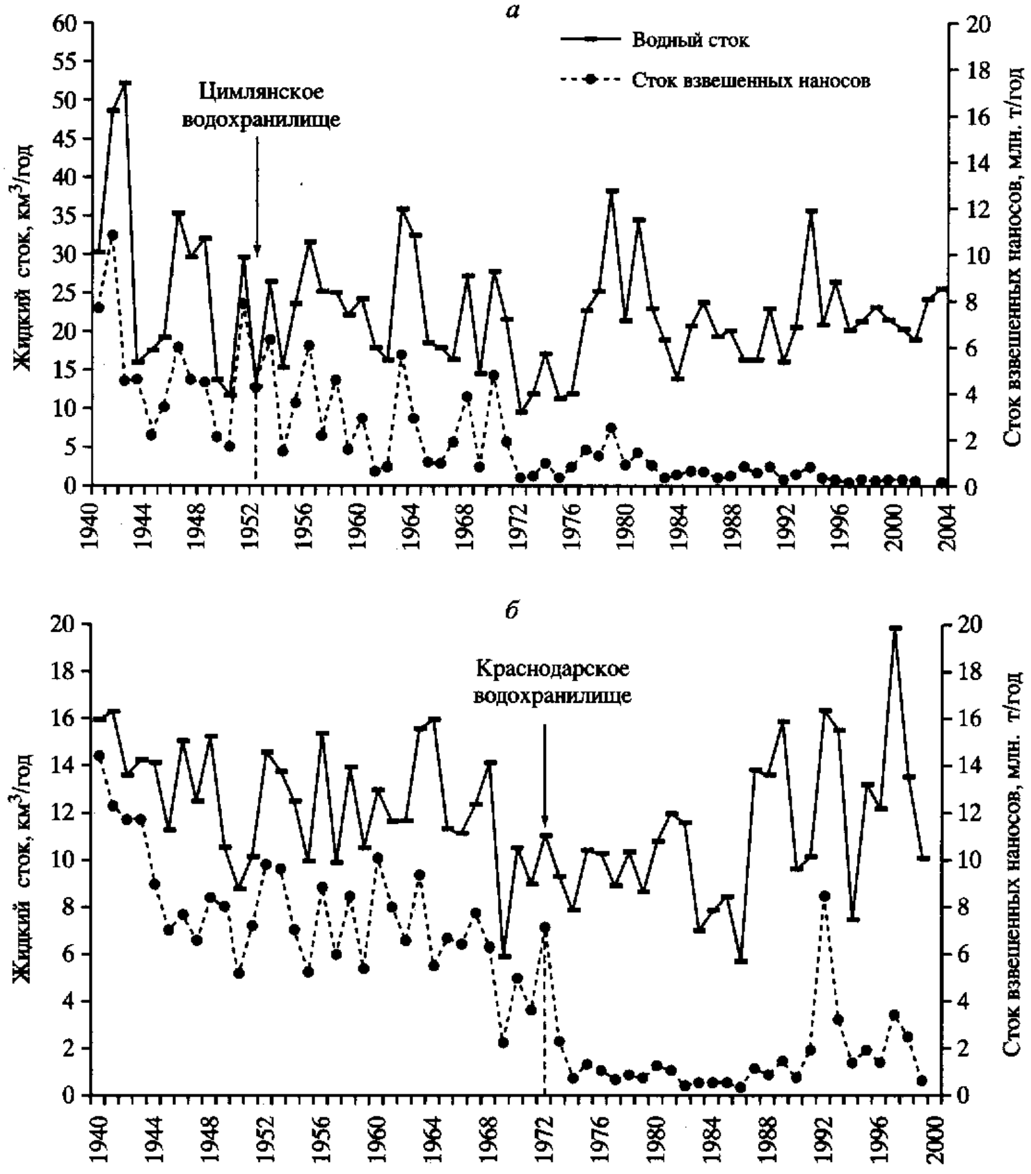

Рис. 2. Сток рек: *а* – Дон (станица Раздорская) и *б* – Кубань (хутор Тиховский)

ных водохранилища, 36 водохранилищ объемом от 1 до 10 млн м³, а также около 600 прудов [21].

Среднегодовое значение водного стока в х. Тиховском за период с 1987 по 1999 гг. составило 13,2 км³, при колебаниях от 7,5 км³ (1994 г.) до 19,8 км³ (1997 г.). Сток р. Кубани стал заметно увеличиваться с 1987 г., что связано с характером атмосферных процессов и увеличением количества атмосферных осадков в зимний период, а также некоторым уменьшением водохозяйственной нагрузки на реку [4, 18]. Таким образом, в современный период водный сток Кубани приблизился к условно естественному. Зарегулирование Кубани повлияло на более равномерное распределение стока в течение года, его величина снизилась в весенне-летний период [18].

СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕКИ ДОН

Анализ твердого стока в замыкающем створе р. Дон (ст. Раздорская) был сделан за период с 1940 по 2004 гг. Условно естественный (1940–1952 гг.) сток наносов составлял в среднем 4,0 млн т/год. После строительства Цимлянского водохранилища (1953–1971 гг.) произошло его уменьшение, а среднегодовое значение составило 2,8 млн т, при значительных колебаниях год от года (рис. 2*а*). Такие колебания могли быть вызваны тем, что потери взвешенных наносов в водохранилище были частично компенсированы интенсивным размывом ложа реки. Становление нового режима русла на участке до ст. Раздорской продолжалось около 15 лет при скорости

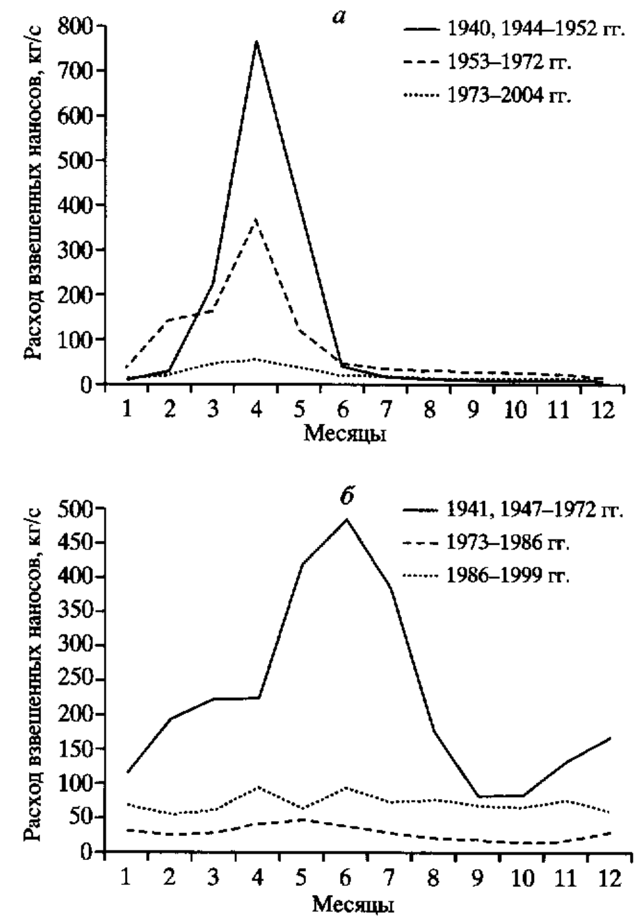

Рис. 3. Внутригодовое изменение расходов взвешенных наносов рек: *а* – Дон (станица Раздорская) и *б* – Кубань (хутор Тиховский)

смещения фронта трансгрессивной эрозии порядка 10–12 км в год [12]. После 1972 г. твердый сток Дона значительно сократился и составил 1,02 млн т/год (1972–1982 гг.). В период с 1972–1976 гг. сток наносов был минимальным – 0,55 млн т/год [12], этому способствовало в первую очередь максимальное водопотребление на нужды промышленности, теплоэнергетики и коммунального хозяйства, а также маловодный период. Кроме того, существенная часть взвесей терялась в результате широкого развития противоэрозионных мероприятий на водосборе.

В отличие от периода естественного режима, когда 92% наносов выносилось на устьевое взморье р. Дон в короткий период половодья, в 1954–1976 гг. относительная доля весеннего стока взвесей сократилась до 79%. Одновременно сток наносов в летне-осеннюю и зимнюю межень увеличился соответственно от 6 до 11% и от 2 до 10%. В последующий период с 1977 по 2004 гг. сток наносов, как и жидкий сток, распределяется практически равномерно в течение года с небольшим пиком в апреле (рис. 3*а*).

Трансформация твердого стока и его гранулометрического состава в дельте Дона в 1960–1970-х гг. подробно изучена А.М. Бронфманом, А.Н. Александровым [12], Ю.П. Хрусталевым [20] и др. авторами. Количество аккумулирующегося на приморском участке реки взвешенного материала ориентировочно оценено в 50% стока наносов в ст. Раздорской. Распределение твердого стока по рукавам происходит пропорционально распределению жидкого стока [9].

С 1983 по 2004 гг. сток наносов в ст. Раздорской достиг наименьших значений, в среднем около 0,4 млн т/год. В 1970–1980 гг. были построены низконапорные гидроузлы Кочетовский, Николаевский (1975 г.) и Константиновский (1981 г.), интенсивно аккумулирующие взвешенные наносы Дона. В связи с их строительством в 1980-е гг. происходила эрозия русла в нижних бьефах, что создавало значительные трудности при оценке твердого стока и его гранулометрического состава в низовьях Дона. Изменение стока в дельте в 1990-х гг. практически не изучено из-за отсутствия данных наблюдений в замыкающих створах устья.

На устьевом участке р. Дон обнаружены разнонаправленные многолетние изменения уровня воды. На нижних постах городов Азова, Ростова-на-Дону преобладают повышенные уровни воды, связанные с распространением подпора ввиду эвстатического повышения уровня Азовского моря (1,5 мм/год) [21]. Этому также способствуют высокие темпы тектонического опускания побережья (2,5 мм/год) и просадка дельтовых отложений. Усиление подпора со стороны моря значительно изменило и ухудшило гидравлические условия переноса взвесей на протяжении всего их пути до морского края дельты. На верхних постах устьевого участка р. Дон (пос. Багаевский, ст. Раздорская) отмечено значительное понижение уровней воды. Основной причиной этого является эрозия русла, вызванная строительством плотины Цимлянской ГЭС, на настоящий момент составившая почти 75 см [21]. Граница, разделяющая нижний участок дельты, где должна происходить аккумуляция наносов, и верхний участок, где фиксируется размыв русла, изменяется в зависимости от расходов воды: в мае она находится ниже г. Ростова-на-Дону (на расстоянии всего 30 км от залива), а в октябре – выше, на расстоянии 60 км от устья [21].

Исходя из этого следует предположить, что в настоящий момент размыв русла распространился на территорию дельты Дона. Это подтверждают визуальные наблюдения и данные опросов жителей с. Донское (рук. Старый Дон), где в течение последних пятнадцати лет размыв берега реки составляет 1,0–1,5 м/год. Одной из причин размыва русла рук. Старый Дон является интенсивное судоходство (до 50 судов в сутки), выполняемое с нарушением скоростного режима при входе судов из Таганрогского залива в реку [5]. Размыву подвергается морской край дельты, этому способствует усиление подпора со стороны моря, а также увеличение повторяемости западных ветров и нагонов в последние 20 лет [25].

Изменение гранулометрического состава взвешенных наносов в дельте р. Дон

При прохождении через дельту изменяется гранулометрический состав взвешенного вещества, увеличивается доля пелитовых (>0,01 мм) частиц. Трансформация гранулометрического состава в период условно естественного (1934–1938, 1945–1951 гг.) и зарегулированного (1960–1970 гг.) режима подробно изучена в работе А.М. Бронфмана, Е.П. Хлебникова [9] (табл. 1). По данным этих авторов, в первый период изменение фракционного состава взвесей по пути потока к морю было сравнительно небольшим, так как движение наносов носило преимущественно транзитный характер. Во второй период (после зарегулирования) селекция аллювиального материала стала значительной. За половодье в дельте содержание песчаных (1,0–0,5 мм) и крупноалевритовых (0,5–0,1 мм) фракций во взвеси убывало от 25,1 до 5,8%, в межень от 23,2 до 0,7%. К сожалению, в ст. Раздорской в последние годы не проводятся регулярные наблюдения за гранулометрическим составом наносов, в результате чего не представляется возможным сделать более детальный анализ структуры взвешенного вещества дельтовой области.

СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕКИ КУБАНЬ

В режиме стока взвешенных наносов р. Кубань можно выделить несколько периодов [22, 18, 2]: первый (с 1940 по 1963 гг.) – период, характеризуемый слабым влиянием хозяйственной деятельности; второй (с 1964 по 1972 гг.) – с заметным влиянием хозяйственных мероприятий на сток наносов; третий (с 1973 по 1986 гг.) – период пониженной естественной водности с сильно измененным режимом стока воды и наносов за счет влияния Краснодарского водохранилища; четвертый (с 1987 по 2000 гг.) – период повышенной водности с уменьшением хозяйственного использования стока реки. При смене периодов количество переносимых рекой наносов снижалось и лишь в последний промежуток времени несколько возросло из-за резкого увеличения жидкого стока (рис. 2*б*).

В период с 1942 по 1963 гг. сток наносов (в вершине дельты – в х. Тиховском) составлял 8,2 млн т/год, с 1964 по 1972 гг. – 5,6 млн т/год.

Значительное уменьшение стока наносов произошло после создания Краснодарского водохранилища в 1972 г. В связи с этим за 1973–1986 гг. среднемноголетний годовой сток наносов сократился (в створе х. Тиховский) по сравнению с предыдущим периодом на 4,73 млн т и составил 0,86 млн т (рис. 2*б*). С 1973 гг. здесь, так же как и на Дону, сформировались более низкие уровни связи между расходами воды и взвешенных наносов [23].

Период с 1987 по 2000 гг. вследствие увеличения водности реки, усиления процессов размыва русла характеризуется ростом стока взвешенных наносов в х.Тиховском – до 2,2 млн т/год, т.е. в 2,5 раза, а в замыкающих створах – в 1,5 раза (до 1,41 млн т/год).

Значительные изменения произошли во внутригодовом распределении твердого стока. До зарегулирования реки половодье имело ярко выраженный характер с мая по июль, расход наносов увеличивался в это время в 2 раза. После 1973 г. произошло существенное снижение весенне-летнего стока. Его внутригодовое распределение стало более равномерным с незначительно выраженными пиками в апреле и июне (рис. 3*б*).

В среднем за 1973–2000 гг. около 52,9% наносов уходило в рук. Протоку и 47,1% в рук. Кубань, причем доля стока рук. Протоки постоянно увеличивается. Это обусловлено прежде всего большим забором воды из рук. Кубань, поступлением части стока Кубани в Казачий ерик, а также, вероятно, невязками руслового баланса [18].

Поступление взвешенных наносов в Азовское море с водами рук. Протоки и рук. Кубани в незарегулированных условиях в 1964–1972 гг. составляло соответственно 2,1 млн т/год (в х. Зайцево Колено) и 1,9 млн т/год (в с. Слободка). На устьевом участке реки осаждалось 1,6 млн т/год взвешенного вещества (около 30% от стока наносов в х. Тиховском).

Сооружение Краснодарского водохранилища значительно повлияло на эрозионно-аккумулятивные процессы на участке от г. Краснодара до вершины дельты. Здесь в отличие от предыдущего периода стала преобладать эрозия русла (особенно при прохождении осенне-зимних паводков), размыв составил в среднем 70 см за 41 год и к 1999 г.

Таблица 1. Гранулометрический состав взвешенных наносов Нижнего Дона и Нижней Кубани, % [12]

Период, гг.	Пункт	Размеры фракций, мм				
		1,0–0,5	*0,5–0,1*	*0,1–0,05*	*0,05–0,01*	*<0,01*
1945–1952		Половодье				
	ст. Раздорская	2,5	10,3	4,2	16,6	66,4
	Центр. часть устья (г. Азов, 1927 г.)	0,8	11,4	3,5	16,9	67,4
		Межень				
	ст. Раздорская	0	1,7	0,7	19,5	78,1
	Замыкающие створы устья р. Дон	0	0	0	20	80
1960–1970		Половодье				
	ст. Раздорская	1,2	13,8	10,1	30,7	44,2
	Замыкающие створы устья р. Дон	0,2	3,8	1,8	23,0	71,2
		Межень				
	ст. Раздорская	0	7,9	14,9	20,5	56,3
	Замыкающие створы устья р. Дон	0,1	0,3	0,3	10,4	88,9
1946–1963	Краснодар	1	10	9,6	20,4	59
	х. Зайцево Колено	1,4	13	5,7	33,1	46,5
	ст. Славянская (рук. Протока)	1	9,2	9,0	30,0	50,7
1964–1972	х. Тиховский	2,7	27	17,1	30	23,2
	х. Зайцево Колено	2	28	19	30	21
	с. Слободка	5	30	17	25	23
1973–1986	х. Тиховский	4,2	29,6	22,4	20,1	23,7
	х. Зайцево Колено	2,1	28,4	16,7	23,6	29,1
	с. Слободка	2,8	26,5	15,8	24,1	30,8
1987–1999	х. Тиховский	4,9	25,4	10,7	27,1	31,9
	х. Зайцево Колено	3,1	29,2	24,2	20,2	23,3
	с. Слободка	1,3	26,6	19,9	23,1	29,1

он практически прекратился [22]. Однако это не увеличило значительно сток наносов в дельту.

С 1973 по 1986 гг. в море поступало 0,78 млн т/год осадочного вещества: 0,43 млн т/год – из рук. Кубани и 0,35 млн т/год – из рук. Протоки. В дельте ежегодно в среднем аккумулировалось 0,08 млн т взвесей (10% от стока наносов х. Тиховский). В целом с 1965 по 1985 гг. в руслах рукавов р. Кубань на нижних участках преобладали процессы аккумуляции, а на верхних – размыва [18, 19].

В 1987–1999 гг. твердый сток в море увеличился до 1,14 млн т/год (0,38 млн т/год поступало из рук. Протоки и 0,76 – из рук. Кубань), что составляло 52% от стока в х. Тиховском. По мнению авторов [18], в этот период (1985–2000 гг.) на нижнем участке рук. Кубань (45 км) и рук. Протока (30 км) стал преобладать размыв, обусловленный увеличением общей водности реки с 1987 г. и поступлением воды из сбросных каналов.

Изменение гранулометрического состава взвешенных наносов в дельте р. Кубань

До создания Краснодарского водохранилища на р. Кубань с 1940 по 1963 гг. преобладал транзитный характер движения наносов. Гранулометрическая структура взвешенного вещества изменялась от вершины дельты до замыкающих створов несущественно. В структуре взвеси доминировали пелитовые частицы (< 0,01 мм), составлявшие в среднем 60%, а частиц песчаной и крупноалавритовой фракции было около 20% (табл. 1).

Оценить изменение гранулометрического состава взвешенного вещества после освоения водных ресурсов низовьев Кубани, начавшегося с конца 1940-х годов, крайне затруднительно. Хозяйственные мероприятия носили масштабный и многоплановый характер, их последствия нарушили естественные гидрологические процессы в реках.

Анализируя данные гранулометрического состава взвеси с 1964 по 1972 гг. в дельте, следует отметить, что количество пелитового материала в сравнении с условно естественным стоком уменьшилось в два раза (с 50 до 22%), количество мелкоалевритовых частиц осталось практически на прежнем уровне (32–28%), крупноалевритовых и песчаных частиц увеличилось в 2,5 раза, с 7 до 18% и с 12 до 32% соответственно. Это в первую очередь может быть объяснено антропогенными причинами: эрозионными процессами в русле реки, а также большим содержанием песчано-алевритового материала в возвратных водах. Соотношение гранулометрических фракций по пути от вершины дельты до замыкающих створов практически не менялось.

В следующий, зарегулированный и сравнительно маловодный период (1973–1986 гг.) в замыкающих створах основных рукавов доля пелитовых частиц незначительно увеличилась (на 6%). В последний отрезок времени, с 1987 по 1999 гг., характеризуемый повышением водности реки и усилившимися процессами размыва русла, происходит уменьшение доли пелитовых и мелкоалавритовых частиц на устьевом участке, особенно на рук. Кубань (на 15%), где протяженность эрозионного участка стала больше. Увеличение доли крупнозернистых фракций, возможно, связано с разработками песка в реке в связи со строительством Тиховского гидроузла, а также обвалованием русел.

В целом описанное выше соотношение основных гранулометрических фракций с начала 1960-х годов до настоящего времени остается довольно стабильным несмотря на значительное уменьшение объема твердого стока р. Кубань с 1974 г. (рис. 2*б*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественная русловая сеть нижних участков Дона и Кубани сильно изменена хозяйственной деятельностью, что делает оценку водного и твердого стока этих рек крайне сложной задачей. Большое распространение в устьевых областях рек имеют сооружения для водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства.

Антропогенные изменения водного стока рек достигли наибольшей величины 5,7 км³ в р. Кубань с 1970 по 1986 гг. – и 9,5 км³ в р. Дон с 1972 по 1975 гг. В р. Кубань с 1987 г. наблюдается резкое увеличение стока, обусловленное с климатическими причинами и уменьшением водохозяйственной нагрузки. За 1987–1999 гг. объем стока в вершине дельты Кубани составил 13,2 км³/год, превысив условно естественный период. Заметное повышение отмечалось также на р. Дон с 1977 по 1996 гг., средний ежегодный сток составил 22,8 км³, в последующие годы отмечалась его стабилизация на уровне 22 км³. Регулирование стока рек повлияло не только на величину его годового объема, но и на внутригодовое распределение. Сток в течение года стал более равномерным.

Зарегулирование рек главным образом сказалось на объемах твердого стока. В условно естественный период величина стока наносов в море составляла: р. Дон (ст. Раздорская) 4,0 млн т/год, р. Кубань (х. Тиховский) – 8,2 млн т/год, после постройки водохранилищ сократившись до 2,8 млн т/год (1953–1972 гг.) и 0,86 млн т/год (1973–1986 гг.) соответственно. В современный период (1973–2004 гг.) сток р. Дон уменьшился еще больше – до 1,01 млн т/год, а р. Кубани (1987–1999 гг.) увеличился до 2,2 млн т/год.

Таким образом, общее сокращение объема твердого стока в четыре раза (по сравнению с незарегулированным периодом) стало основной причиной дефицита наносов и эрозии русел в верхних частях устьевых участков рек, а также размыва морского края дельт, которому отчасти способствовало распространение подпора со стороны моря в результате эвстатического поднятия уровня, увеличения повторяемости нагонов и просадки рыхлых дельтовых отложений.

Начиная с 1960-х гг. в структуре гранулометрического состава стока наносов произошли изменения: увеличение крупнозернистых частиц и уменьшение тонкозернистого материала. От вершины дельт к устьям соотношение основных размерных фракций меняется незначительно: в маловодный и меженный период происходит некоторое увеличение тонкозернистых частиц в речной взвеси. Внутригодовое распределение стока стало более равномерным по сравнению с условно естественным режимом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лурье П.М., Панов В.Д.* Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI века // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. С. 90–97.

2. *Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю.* Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб: Гидрометеоиздат, 2005. 420 с.
3. *Матишов Г.Г., Абраменко М.И., Гаргопа Ю.М., Буфетова М.В.* Новейшие экологические феномены в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 441 с.
4. *Гаргопа Ю.М.* Изменение стока рек бассейна Азовского моря и океанографических условий формирование его биоресурсов под влиянием климатических факторов // Закономерности океанографических и биологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. С. 10–81.
5. *Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л.* Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.
6. *Бабкин В.И., Постников А.Н.* О роли циклонической деятельности в формировании стока Волги, Дона и Днепра // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 1. С. 106–108.
7. *Симонов А.И.* Гидрология устьевой области Кубани. М.: Гидрометеоиздат, 1958. 140 с.
8. *Родионов Н.А.* Гидрология устьевой области Дона. М.: Гидрометеоиздат, 1958. 95 с.
9. *Симов В.Г.* Гидрология устьев рек Азовского моря. М.: Моск. отделение Гидрометеоиздата, 1989. 327 с.
10. *Иванов А.А.* К расчету стоковых течений на устьевом взморье Кубани // Сборник работ бассейновой гидрометеорологической обсерватории Черного и Азовского морей. Вып. 6. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. С. 57–68.
11. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
12. *Бронфман А.М., Хлебников Е.П.* Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 271 с.
13. *Шикломанов И.А.* // Антропогенное изменение водности рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 302 с.
14. *Хорецкая А.С.* Потери стока в дельте р. Кубань и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности // Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. Труды ГОИН. Вып. 239. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 78–99.
15. *Хорецкая А.С.* Об изменении стока наносов и мутности р. Кубань под влиянием хозяйственной деятельности // Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. Труды ГОИН. Вып. 255. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 77–93.
16. *Симов В.Г., Жила Г.Т., Иванов А.А., Палеева С.В., Смирнова Т.Ю.* Изменения распределения стока в дельте Кубани под влиянием водохозяйственных мероприятий // Гидрология и гидрохимия южных морей. Труды ГОИН. Вып. 145. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 16–27.
17. *Иванов А.А.* Динамика наносов на взморье Кубани // Гидрология устьев рек. Труды ГОИН. Вып. 172. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. С. 41–50.
18. *Магрицкий Д.В., Иванов А.А.* Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на режим стока Нижней Кубани // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2003. № 5. С. 46–54.
19. *Михайлов В.Н., Повалишникова Е.С., Иванов А.А.* Многолетние изменения уровней воды в дельте р. Кубань // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 2. С. 133–140.
20. *Хрусталев Ю.П.* Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л.: Наука, 1989. 261 с.
21. *Михайлов В.Н., Повалишникова Е.С., Зудилина С.В., Тигунцев Л.А.* Многолетние изменения уровней воды в восточной части Азовского моря и на устьевом участке Дона // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 6. С. 645–654.
22. *Зубкова К.М.* Влияние антропогенных факторов на формирование стока взвешенных наносов р. Кубани в нижнем течении // Труды ГГИ. 1990. Вып. 337. С. 95–112.
23. *Бердников С.В., Прудникова В.В.* Современное терригенное осадконакопление на Азовском шельфе // Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. Т. IV. С. 264–273.
24. *Коротаев В.Н., Иванов В.В., Римский-Корсаков Н.А.* Русловая морфодинамика дельтовых рукавов Кубани // Мат-лы XVII пленар. межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных русловых и устьевых процессов. Краснодар, 2002.
25. *Ивлиева О.В., Сорокина В.В.* Интенсивность абразии и ветровая активность на российском побережье Азовского моря // Современные технологии мониторинга и освоения природных ресурсов южных морей: Тез. докл. межд. семинара (г. Ростов-на-Дону, 15–17 июня 2005 г.). Ростов н/Д: ООО “ЦВВР”, 2005. С. 72–73.

RIVER FLOW ALTERATION IN THE DON AND THE KUBAN MOUTHS, THE SECOND PART OF XX CENTURY

V.V. Sorokina, O.V. Ivlieva, P.M. Lourie

The water and the suspended matter flows dynamic of the Don and the Kuban rivers is considered. The characteristic flow alteration periods are distinguished in accordance with natural and anthropogenic factors influence. The volume of the Kuban River water flow in contemporary period is approximate to the volume of water flow in natural conditions. The decrease of riverine suspended matter in four times after the construction of reservoirs on the Don and the Kuban rivers that caused the deficit of sediments and riverbed erosion is shown. The tendency of erosion and accumulation processes in the mouths of these rivers is revealed. The transformation of suspended matter grain-size structure in the river deltas is researched. The increase of sand and fine silt fractions in accordance with riverbed erosion, caused by reservoir construction is shown.

REFERENCES

1. Lur'e P.M., Panov V.D. 1999. [Impact of climate change on the hydrological regime of the river. Don at the beginning of the XXI century]. *Meteorologiya i gidrologiya*. (*Russian meteorology and hydrology*). (4): 90–97. (In Russian).
2. Lur'e P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu. 2005. *Reka Kuban': gidrografiya i rezhim stoka*. [*Kuban River: hydrography and flow regime*]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ.: 420 p. (In Russian).
3. Matishov G.G., Abramenko M.I., Gargopa Yu.M., Bufetova M.V. 2003. *Noveyshie ekologicheskie fenomeny v Azovskom more*. [*Recent environmental phenomena in the Sea of Azov*]. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publ.: 441 p. (In Russian).
4. Gargopa Yu.M. 2000. [Changing of river flow basin of the Azov Sea and oceanographic conditions of the formation of its biological resources under the influence of climatic factors]. In: *Zakonomernosti okeanograficheskikh i biologicheskikh protsessov v Azovskom more*. [*Laws of oceanographic and biological processes in the Sea of Azov*]. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publ.: 10–81. (In Russian).
5. Matishov G.G., Gargopa Yu.M., Berdnikov S.V., Dzhenyuk S.L. 2006. *Zakonomernosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more*. [*Laws of ecosystem processes in the Sea of Azov*]. Moscow, Nauka Publ.: 304 p. (In Russian).
6. Babkin V.I., Postnikov A.N. 2000. [On the role of cyclonic activity in the formation of the runoff of the Volga, the Don and the Dnieper]. *Vodnye resursy*. (*Water resources*). 27(1): 106–108. (In Russian).
7. Simonov A.I. 1958. *Gidrologiya ust'evoy oblasti Kubani*. [*Hydrology estuary of the Kuban River*]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ.: 140 p. (In Russian).
8. Rodionov N.A. 1958. *Gidrologiya ust'evoy oblasti Dona*. [*Hydrology estuary of the Don River*]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ.: 95 p. (In Russian).
9. Simov V.G. 1989. *Gidrologiya ust'ev rek Azovskogo morya*. [*Hydrology estuaries of the Azov Sea*]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., Moscow branch: 327 p. (In Russian).
10. Ivanov A.A. 1968. [On the calculation of river runoff in the estuary the Kuban River]. In: *Sbornik rabot basseynovoy gidrometeorologicheskoy observatorii Chernogo i Azovskogo morey*. [*A collection of papers basin Hydrometeorological Observatory of the Black and Azov Seas*]. Issue 6. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 57–68. (In Russian).
11. Mikhaylov V.N. 1997. *Ust'ya rek Rossii i sopredel'nykh stran: proshloe, nastoyashchee i budushchee*. [*Estuaries of the rivers Russia and neighboring countries: the past, present and future*]. Moscow, GEOS: 413 p. (In Russian).
12. Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. 1985. *Azovskoe more. Osnovy rekonstruktsii*. [*Sea of Azov. Fundamentals of reconstruction*]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 271 p. (In Russian).
13. Shiklomanov I.A. 1979. *Antropogennoe izmenenie vodnosti rek*. [*Anthropogenic changes in water availability*]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 302 p. (In Russian).
14. Khoretskaya A.S. 1977. [Losses runoff in the delta of the Kuban River and their change under the influence of economic activity]. In: *Trudy GOIN. Vliyanie khozyaystvennoy deyatel'nosti na vodnye resursy i vodnyy rezhim*. [*Proceedings of the State Oceanographic Institute. The impact of economic activities on water resources and water regime*]. Issue 239. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 78–99. (In Russian).
15. Khoretskaya A.S.1978. [On the change sediment runoff and turbidity of the Kuban River under the influence of economic activity]. In: *Trudy GOIN. Vliyanie khozyaystvennoy deyatel'nosti na vodnye resursy i vodnyy rezhim*. [*Proceedings of the State Oceanographic Institute. The impact of economic activities on water resources and water regime*]. Issue 255. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 77–93. (In Russian).
16. Simov V.G., Zhila G.T., Ivanov A.A., Paleeva S.V., Smirnova T.Yu. 1978. [Changes in the distribution of runoff in the delta of the Kuban river under the influence of water management activities]. In: *Trudy GOIN. Gidrologiya i gidrokhimiya yuzhnykh morey*. [*Proceedings of the State Oceanographic Institute. Hydrology and hydrochemistry of the southern seas*]. Issue 145. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 16–27. (In Russian).

17. Ivanov A.A. 1984. [Dynamics of sediment on the coast of Kuban]. In: *Trudy GOIN. Gidrologiya ust'ev rek*. [*Proceedings of the State Oceanographic Institute. Hydrology* estuaries]. Issue 172. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.: 41–50. (In Russian).
18. Magritskiy D.V., Ivanov A.A. 2003. [Assessing the impact of water management activities on the runoff regime of the Lower Kuban River]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. (5): 46–54. (In Russian).
19. Mikhaylov V.N., Povalishnikova E.S., Ivanov A.A. 2002. [Long-term changes in water levels in the delta of the Kuban River]. *Vodnye resursy*. (*Water resources*). 29(2): 133–140. (In Russian).
20. Khrustalev Yu.P. 1989. *Zakonomernosti osadkonakopleniya vo vnutrikontinental'nykh moryakh aridnoy zony*. [*Patterns of sedimentation in the inland seas of the arid zone*]. Leningrad, Nauka Publ.: 261 p. (In Russian).
21. Mikhaylov V.N., Povalishnikova E.S., Zudilina S.V., Tiguntsev L.A. 2001. [Long-term changes in water levels in the eastern part of the Azov Sea and in the estuary the Don River]. *Vodnye resursy*. (*Water resources*). 28(6): 645–654. (In Russian).
22. Zubkova K.M. 1990. [Influence of anthropogenic factors on the formation of suspended sediment runoff of the Kuban River in the lower course]. In: *Trudy GGI*. [*Proceedings of the State Hydrological Institute*]. Issue 337. P. 95–112. (In Russian).
23. Berdnikov S.V., Prudnikova V.V. 2002. [Current terrigenous sedimentation on the shelf of the Sea of Azov]. *Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo morya i poberezh'ya*. [*Ecosystem Research and the Azov Sea coast*]. Vol. IV. Apatity, Kola Scientific Center RAS Publ.: 264–273. (In Russian).
24. Korotaev V.N., Ivanov V.V., Rimskiy-Korsakov N.A. 2002. [Fluvial dynamics of the delta arms of Kuban River]. In: *Materialy XVII plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshchaniya po probleme erozionnykh ruslovykh i ust'evykh protsessov*. [*Proceedings XVII Interuniversity plenary coordination meeting on the problem of erosion fluvial and estuarine processes*]. Krasnodar. (In Russian).
25. Ivlieva O.V., Sorokina V.V. 2005. [The intensity of abrasion and wind activity on the Russian coast of the Sea of Azov]. In: *Sovremennye tekhnologii monitoringa i osvoeniya prirodnykh resursov yuzhnykh morey: Tezisy dokladov mezhdunarodnogo seminara* (*g. Rostov-na-Donu, 15–17 iyunya 2005 g.*). [*Current technologies for monitoring and management of natural resources of the Southern Seas: Abstracts International Seminar* (*Rostov-on-Don, June 15–17, 2005*)]. Rostov-on-Don, “TsVVR”: 72–73. (In Russian).